

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-289347

(43)Date of publication of application : 18.10.1994

(51)Int.Cl.

G02F 1/035

G02B 6/12

(21)Application number : 05-076618

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 02.04.1993

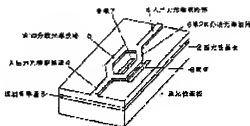
(72)Inventor : EDA KAZUO

## (54) OPTICAL WAVEGUIDE ELEMENT AND ITS MANUFACTURE

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To reduce the loss of coupling with an optical fiber by directly joining light-transmissive substrates which have the same refractive index across a layer which has a lower refractive index and providing one of the substrates with an optical waveguide to which light is confined.

**CONSTITUTION:** The substrate 1 which transmits light and the substrate 2 which has the same refractive index with the substrate 1 and is low in light transmissivity are joined together directly across the low-refractive-index layer 3. Further, an input/output optical waveguide part 4 formed on the substrate 2, and one branch optical waveguide 4 and the other branch optical waveguide 6 that the input part branches into are provided and electrodes 7 and 8 are provided on both the sides of the branch optical waveguide 6. Then light which is made incident from the input part is split into two, the optical waveguide parts are made different in refractive index by electrooptic effect by applying an electric field to the optical waveguides to vary the propagation speed of guided light, and lights at a recoupling part are made different in phase, thereby modulating the intensity of the light of an output part. Here, silicon oxide is used for the low refractive index layer 3, which is made lower in refractive index than the substrates 1 and 2 to confine the light to one substrate.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(18)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-289347

(43)公開日 平成6年(1994)10月18日

(51)Int.Cl.<sup>9</sup>

G 0 2 F 1/035

G 0 2 B 6/12

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

M 8108-2K

J 8106-2K

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平6-76618

(22)出願日 平成5年(1993)4月2日

(71)出願人 000006821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1000番地

(72)発明者 江田 和生

大阪府門真市大字門真1000番地 松下電器

産業株式会社内

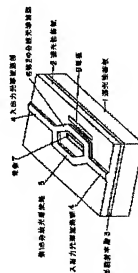
(74)代理人 弁理士 小畑治 明 (外2名)

【54】【発明の名称】 光導波路素子とその製造方法

【57】【要約】

【目的】 本発明は光導波などに用いる光変調器などの光導波路素子に関するもので、特に光ファイバーとの結合損失や反射損失の少ない光導波路素子の構造とその製造方法を提供することを目的とする。

【構成】 複数の屈折率の同じ誘電体透光性基板1、2を、前記誘電体透光性基板1、2よりも屈折率の低い層3を介して直接接合し、少なくともその一方の基板に光の閉じこめられた光導波路4、5を有するようにした構成からなる。





9) による。"オプティカル ウエーブガイド モデュ  
レイターズ"アイ・イー・イー・イー トランザクショ  
ンズ オン マイクロウェーブ アンド テクニークス  
、ボリューム エム・アイ・ティー・二、ナンバー  
一、第57頁-第70頁(1975年) ("Optical Wave  
guide Modulators" IEEE Transactions on Microwave  
and Techniques, Vol. MTT-23, No. 1, 57-70(1975))  
にも記載されている。例えば、ニオブ酸リチウムやタ  
ンタル酸リチウムを高温度で熱処理して、 $\lambda_i$ をアウト  
ディフュース(out-diffuse)して屈折率を変化させ  
たり、タンタムなどの金属を蒸着し、高温で熱拡散すること  
により、拡散層分の屈折率を他の部分よりも少し高くす  
ることによって、光を閉じこめるようにしている。タン  
タム酸を用いたマッハーゼンダー型光変調器の例は例え  
ば、日本特許公開公報、特開昭53-261215号に  
記載してある。その他、所定部分に金属マスクを用い、  
200から300度の真空中でプロトンイオン交換を行  
い、屈折率を一変させ、光導波路を形成する方法なども  
知られている。しかし、アウトディフュージョン(out-  
diffusion)や熱拡散、表面からのイオン交換などの  
ような製造方法は、いずれも表面からの熱拡散処理により光  
導波路を形成していることから、光導波路の断面形状  
が、拡散に定まった形状になるため、色々不都合がある。

【0003】  
【発明が解決しようとする課題】大きな課題の一つに、  
光導波路と光ファイバーとの結合損失がある。光ファイ  
バーの断面形状は円形であるのに対して、従来の光導波  
路の形状は、表面からの拡散によるためほぼ三角形に似た  
形状であり、かつ導波路の強度の最も弱い部分が、表面  
近くにあるため、光ファイバーとの光結合があまりうまく  
いかず、そこで大きな損失を生じていた。光導波路素  
子では、光の結合損失の低減は従って重要な課題となっ  
ている。

【0004】また熱処理を行うことにより、拡散前よ  
りも光伝播損失が増大するという問題もあった。タンタ  
ム酸光導波路の場合、通常数 $\mu\text{m}$ 程度の伝播損失  
が生ずる。伝播損失の低減も光導波路素子の大きな課題  
となっている。

【0005】また同じく熱処理により光損失が大き  
くなるという問題もあった。これは、強度の強い光線はし  
ば伝播長の光を拡散型光導波路に入ると、伝播損失が  
顕著とともに増大するというものである。これはイオン  
の光導波路途中への拡散により、光導波路中に電子のトラ  
ップが増大することによると考えられている。

【0006】拡散などの処理によらずに光導波路を形成  
する方法として、例えば前述のオノヰ氏(Ono)の  
公報には、タンタル酸リチウムの上にニオブ酸リチウ  
ムを結晶成長させたり、ニオブ酸リチウムやタンタル酸  
リチウムの上に、スパッタリングにより、ニオブ酸リチ  
ウムの薄膜を形成して、その部分に光導波路を形成する

方法などが記述されている。また日本特許公開公報、特  
開昭52-23035号には、やはり、タンタル酸リチウ  
ムなどの基板の上にニオブ酸リチウムなどを塗布、蒸  
着、溶融などの各種方法によりエピタキシャル成長させ  
て光導波路を形成する方法が記述されている。しかしこ  
れらの各種異相結晶成長技術を用いた光導波路形成方法に  
もいくつかの問題点がある。第1に、エピタキシャル成  
長時は成長速度や成長時に発生する結晶内の歪の問題か  
ら、 $5\mu\text{m}$ 以上の膜厚を、実用的に得ることが困難であ  
り生産性が非常に悪い。また $5\mu\text{m}$ 以下の膜厚では、光  
の閉じこめられている部分であるコア部分の10 $\mu\text{m}$ ある  
光ファイバーとの結合特性が悪くなる。

【0007】また結晶成長ができるためには結晶結子  
の間の接合面がないと良好な異相結晶成長が得られない  
という厳しい条件がある。そのため、タンタル酸リチウ  
ム基板上に、良好なニオブ酸リチウム結晶を形成する  
ことは極めて困難であり、そのため多くはニオブ・タン  
タル混晶の成長で行われている。ニオブ酸リチウムの  
場合、混晶よりも、純粋のニオブ酸リチウムの方が、  
光導波路特性全般に優れている。

【0008】また同様の材料のエピタキシャル成長は可能  
であるが、結晶方位が同じとなるため、基板と成長させ  
た薄膜の間に有効な屈折率差を得ることが困難であり、  
が一般に基板となり、光導波路を形成できないなどの課  
題があった。

【0009】このような光導波路形成技術を用いた場合、そ  
の品質が良好でなければ、仮に厚くついても、光伝播  
損失が大きくなり、光損失が大きくなるため好ましく  
ない。

【0010】  
【課題を解決するための手段】上記課題を解決するた  
めに、屈折率の同じ透光性基板を、少なくとも2枚、前記  
透光性基板よりも屈折率の低い層を介して直接接合し、  
少なくともその一方の基板に光の閉じこめられた光導  
波路を有するように構成したものである。

【0011】  
【作用】上記の構成とすることにより、光ファイバーと  
の結合損失が少く、伝播損失および光損失の少ない光導  
波路素子が得られる。

【0012】  
【実施例】以下本発明の光導波路の光導波路素子、特に光  
変調器に適用した場合の構成とその製造方法について、  
図面を参照しながら説明する。

【0013】【実施例1】本実施例の構造の第1の例を  
図1および図2に示す。図1は、光変調器に適用した場  
合を示したもので、1は透光性の基板、2は基板1と同  
じ屈折率を有する透光性の薄い基板、3は、基板1およ  
び2の少なくとも一方の基板表面に形成された屈折率  
層で、基板1および2を直接接合している。4は基板2  
に形成された入出力光導波路、5は入力部から二つに

う述べたうちの一方向の分岐光導路。θは他方向の分岐光導路。7および8は分岐光導路θの両側に形成された電極である。図2はその中心部分の断面図で、図において、1、2、3、5、6、7、8の各構成要素の名称は、図1と同じである。分岐光導路5、6は、断面図の部分で台形になっており、いわゆるリッジ型光導路の構造となっている。入出力光導路4の断面形状も同じになっている。θは光導路伝播を示したものである。光変調器の構成そのものは、いわゆるマッハ・ゼンダー型と呼ばれるもので、入力部より入射した光を、二つに分岐し、分岐した一方の光導路に電界を加え、電気光学効果により、光導路部の屈折率を変えて導光の伝播速度を変え、再結合部で光の位相が異なるようにすることにより、出力部の光の強度を調整するようにしたものである。

【0014】透光性の基板として、大きな電気光学効果を有するニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムを用いた。それぞれ屈折率は、実光に対して、2.29および2.16である。これらの屈折率は、結晶方位によっても決つて異なる。本実施例では全く同一材料で同一結晶方位の材料同士の場合を用いた。また低屈折率層として酸化窒素または酸化珪素を用いた。それぞれ屈折率は約1.5および2.0である。基板に用いるニオブ酸リチウムおよびタンタル酸リチウムに対して、酸化窒素および酸化珪素は、ともに屈折率が十分小さいため、この低屈折率層の厚みのある領域以上厚くすることにより、一方の基板に光を閉じこめることができ、光導路の形成が可能となる。具体的には、光導路を形成する側の導光部の基板2の厚みを7μm、基板1の厚みを400μm、低屈折率層の厚みを2μmとした。さらに基板2の光導路断面形状をいわゆるリッジ構造とすることにより、リッジ下部の部分の方が、その他の部分よりも実際の屈折率が大きくなるため、光はリッジ下部に閉じこめられ、それによりリッジ下部が光導路として作用する構造とした。リッジ部でほぼりの高さは2μm、光導路幅は7μm、分岐光導路部の長さθは20mm、光導路部全体の長さは30mmとした。電極はアルミニウムを用いた。

【0015】この場合の導路形状は、導路が台形ないしは矩形であらう。この導路がなることにより、導路の中心は、光導路の中心付近になり、かつ円形に近い形となる。入出力光導路断面も同じ形状であり、したがって、光ファイバーのコア部（直径約10μm）の円形光導路部構造との結合損失は極めて良好となる。実際、光ファイバーとの結合損失は、屈折率の整合をとった接合材を用いて無損失にすることができ、片面で0.5dB以下となった。従来のニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウムを用いた拡散型光導路を用いた場合、同様の接合方法で、結合損失は1.0dB以上であったことから大幅に改善された。

【0016】また光導路として、イオン拡散処理を行わない材料の単結晶としての光学特性を有する透光性基板を用いているため、光の伝播損失も極めて小さくすることができた。具体的には、いずれの場合においても、0.5dB/cm以下の光導路伝播伝播損失が容易に得られ、この面でも特性が改善された。

【0017】また入射光の強度を0dBmから20dBmまで変えて、光強度の様子をみたが、ほとんど光強度は見られなかった。これは、拡散処理を行わずに光導路を形成できるため、電子トラップの発生に少ない良好の単結晶基板が利用されることによる効果と考えられる。これにより光強度の面からも改善の効果が見られた。光変調器としての性能は、従来のニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウムを用いた拡散型光導路で構成したものとほぼ同様の性能が得られた。なお測定は1.3μmの波長で行った。

【0018】ここで直接接合について説明する。直接接合は低誘電体の接合層を用いず、無機材料同士を表面の分子間力、界面の静電引力などによって接合するものである。したがって接合による基板の熱膨張率と異なる、温度変化に対して接合部に歪が発生し、接合強度があまり大きくとれない。温度変化に対する信頼性に乏しいなどの短点があった。したがって生じ性よく、信頼性の高い直接接合を行なおうとすると、接合する基板同士の熱膨張率が同じ方が好ましい。しかし単に光導路基板に用いられる単結晶誘電体や単結晶半導体は、材料間でその熱膨張率は大きく異なるし、また結晶方位によっても熱膨張率は変化に変化する。したがって本実施例のように、同一材料で同一結晶方位の基板同士を組み合わせれば、熱膨張率をほぼ完全に同一にすることができると、生産性、信頼性の高い直接接合の得られるものである。

【0019】なお、透光性基板として、ニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウム以外に、他の透光性で電気光学効果を有する誘電体基板である、チタン酸バリウム（屈折率：2.4）、ニオブ酸カリウム（屈折率：2.2）、チタニウム酸バリウム（屈折率：1.7）などを用いても、低屈折率層を介して直接接合による光導路を形成した場合は、ほぼ同様の効果を得ることができ、また低屈折率誘電体材料として、酸化珪素または酸化窒素以外に、酸化亜鉛（屈折率：2.0）、酸化アルミニウム（屈折率：1.6）や酸化インジウム（屈折率：2.2）などの有機金属化合物、または有機シリケート（屈折率：約1.5）や光学ガラス（屈折率：1.5〜1.8）を用いても、同様の構成と同様の効果が得られる。

【0020】（実施例2）本実施例の光導路素子の製造方法の第1の例を示す。

【0021】まず米国で開発された屈折率および熱膨張率の同じ2枚の誘電体透光性基板の表面を、それぞれ洗浄

にし、その少なくとも一つの基板表面に、所定の厚みの酸化層または酸化膜を化学気相成長法（CVD）やスパッタリングなどによって形成した。その後それぞれ基板表面を、水処理した。具体的には、過酸化水素—アンモニア—水からなる溶液に浸すことにより行った。その後その表面を純水に浸すことによって、水様成分を表面に付着させる水処理を行った後、すぐに一側に垂れあわせると、基板表面に垂るした水、水酸基、水素によって、両面に直接接合が行われ、この状態で、100℃以上の温度で熱処理を行うと、その接合は更に強化された。次に、光導通路を形成しようとする側の基板を、熱的研磨およびエッチングにより、平坦化していった。10から7μmまで平坦化した後、平坦化した方の基板上面にホトリソグラフィ技術により、実施例1で示した光導通路構造のパターンにエッチングマスクを形成し、エッチングにより、光導通路部以外を2μmのエッチング除去した。マスクとしてはクロム—金を用いた。エッチング法としては、無酸素エッチング法を用いた。その後マスクを除去し、電極を通常のホトリソグラフィとエッチング技術により形成した。これにより実施例1に示す光導通路素子の構造を得た。

【0022】この素子の光ファイバーとの結合特性、伝導特性、光伝導特性は、いずれも実施例1で述べた通りである。

【0023】（実施例3）本実施例の光導通路素子の製造方法の第2の例を示す。

【0024】実施例2と同様にして、少なくとも一方の基板表面に所定厚の層を有する誘電体透光性基板を作成した。その後両基板を重ね合わせ、100から2000Vの電圧電圧を加えると、直接接合が得られた。その時基板を加熱すると直接接合がより短時間で可能となった。いずれにしても実施例2で示した方法よりも、より直接で直接接合強度を強化することができた。その後、実施例2で示したと同一の処理を行うことにより、実施例1に示す構造の光導通路素子を得た。これらの素子の特性は実施例1に述べた通りである。

【0025】（実施例4）本実施例の光導通路素子の製造方法の第3の例を示す。

【0026】実施例2と同様にして、少なくとも一方の基板表面に所定厚の層を有する誘電体透光性基板を作成した。その表面を水処理した。その後両基板を重ね合わせると、基板同士を直接接合した。その後両基板の接合部分に、実施例2と同様にして、100から2000Vの電圧電圧を加えると、直接接合が強化された。この場合実施例3で示したよりもより強い接合強度がより容易で得られた。その後実施例2で示したと同一の処理を行うことにより、実施例1に示す構造の光導通路素子を得た。これらの素子の特性は実施例1に述べた通りである。

【0027】（実施例5）本実施例の光導通路素子の製

造方法の第4の例を示す。

【0028】透光性基板の少なくとも一方の表面に、それよりも屈折率の高い樹脂点ガラス材料からなる層をスパッタリングなどにより形成した。次にその樹脂点ガラス層を介して重ね合わせ、その樹脂点ガラスの融点近傍に加熱することにより、基板同士を直接接合した。その後実施例2で示したと同一の処理を行うことにより、実施例1に示す構造の光導通路素子を得た。これらの素子の特性は実施例1に述べた通りである。

【0029】ガラスによる結合は、熱処理温度として、用いた樹脂点ガラスの融点以上にすれば容易に溶融接合するが、そこまで温度を上げなくても、用いるガラスの融点近傍で保持しても接合した。その場合には、ガラス層の形成時の膜厚が厚く保たれた。融点以上に熱処理すると、一般に、当初の膜厚よりも薄くなったがとくに厚影響はなかった。ガラスとして、融点が300℃のものから600℃のものまで用いたが、その融点に合わせて適切な温度、すなわち融点以上の温度で熱処理することにより、良好な特性が得られた。

【0030】上記で実施例1から5の場合、いずれも両基板の熱膨張率が全く同じであることから、接合強度向上のための熱処理温度を、より高温でより容易に行うことができる。その場合、平坦化のための加工を、表面の研磨などで行っても、割傷がない、あるいは光導通路素子として、より高温まで安定に動作するなどの効果が得られた。

【0031】実施例2及び4で示した水処理および水処理による直接接合は、それぞれ基板表面に水中の水、水酸基、水素などが表面付着し、そのイオンの結合力で接合したと考えられる。この状態で熱処理を行うと、接合界面から次第に水が抜け、水酸基の水素と直接の結合していた水素が抜け、残された酸素と誘電体透光性誘電体基板表面の元素が反応して、接合が強化されると考えられる。

【0032】実施例3および4で示した接合界面に直流電圧を加える直接接合法では、接合界面でイオンの移動があり、その静電的力で接合が行われると考えられる。

【0033】いずれの実施例においても、代表的な方法について記述したが、良好な光導通路が形成される範囲であれば、とくにこれに限定されるものではない。

【0034】また実施例ではマッハ—ゼンダー構成の光変調器の例で説明したが、光変調器としてこの構造に限定されるものではなく、光導通路を利用した構造であれば同様に適用できることは原理的に明らかである。また光変調器の構造において、スイッチング的に変調すれば光スイッチとして使用できることも明らかである。また光導通路構造を各種手段により制御することにより実現できる光導通路素子、例えば光偏置面制御素子、光伝導モード制御素子、光位相整合制御などにも適用できるこ

とは明らかである。

【〇〇〇〇】また本実施例では、2枚の誘電体透光性基板の一方にのみ光導波路素子を形成したが、両基板に光導波路素子を形成することも可能である。また3枚以上の誘電体透光性基板を直接接合し、それぞれに光導波路素子を形成することも可能である。

【〇〇〇〇】

【発明の効果】本発明は、以上説明したような構成と製造方法から成るので、以下に記載されるような効果を示す。

【〇〇〇〇】光導波路として、均一層状の構造が得られることから、光導波路断面形状の对称性が良く、また光の伝播中心を基板厚板中央にすることができ、またその厚みを自在にでき、それにより光ファイバーとの結合損失を大幅に削減できる。

【〇〇〇〇】また光導波路として、材料組成の選択自由度が大きいことから、例えば屈折率調整していない良好の矩形誘電体透光性基板を用いることができるため、光伝播損失が少なく、また光導波路の少ない光導波路素子を得ることができる。

【〇〇〇〇】また同一物質からなる接合なので、熱膨張

率が全く同じであることから、直接接合の生産性、信頼性を高められ、また高温まで特性が安定であるなどの効果がある。

【〇〇〇〇】本実施例では、光変調器の構成の例を示したが、本実施例の構成が光導波路の構成そのものにあることから、基本的には光導波路を用いた各種光導波路素子に広く一般的に適用できるものであり、光変調器に限らず、光スイッチ、偏波面制御、伝搬モード制御、光の位相整合制御などの光導波路素子に適用できるものである。

【図面の簡単な説明】

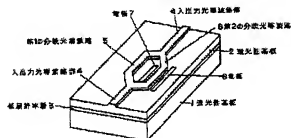
【図1】本発明の第1の実施例の構成図

【図2】本発明の第1の実施例の断面図

【符号の説明】

- 1、2 透光性基板
- 3 伝播面定層
- 4 入出力光導波路部
- 5 第1の分岐光導波路
- 6 第2の分岐光導波路
- 7、8 電極
- 9 導波路伝導部

【図1】



【図2】

